

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСКОКА ЧАСТИЦ ГАЗА В ЗАЗОРЕ ВИНТОВОГО НАСОСА

Мошкина Е.П., Токманцев В.И.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: tvi@dpt.ustu.ru

Вакуумные винтовые насосы [1, 2] в настоящее время часто применяются в качестве выпускных ступеней современных компактных турбомолекулярных насосов и работают при относительно высоком давлении в промежуточном и вязком режимах потока. Как правило, стремятся радикально уменьшить радиальный зазор между ротором и статором насоса, что позволяет снизить обратный поток через и получить высокую степень сжатия газа. Однако в некоторых случаях существенно уменьшить зазор не удастся, при этом режим работы насоса может быть близок к свободномолекулярному. Такие особенности могут привести к проскоку частиц газа из области повышенного давления в область высокого вакуума.

Предполагается, что полный числовой поток газа через сечение канала z представляет собой сумму потоков (1):

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4, \quad (1)$$

где J_1, J_2 – макролокальные потоки Пуазейля в канавках насоса и зазоре, соответственно; J_3 – поток откачки; J_4 – разность потоков, которые приходят напрямую из внешних камер.

После подстановки выражений для потоков получим основное дифференциальное уравнение для давления $p(z)$ (2):

$$\frac{dp}{dz} = \frac{p}{L_i} - \frac{p_f - p_{0h}}{L_e}, \quad (2)$$

где $p(0) = p_{0h}$ – предельное давление в камере высокого вакуума, $p(H) = p_f$ – давление в камере низкого вакуума, L_i – характерный масштаб изменения давления, обусловленный эффектом откачки, L_e – характерный масштаб влияния внешних камер.

С учетом граничных условий решение основного уравнения имеет вид (3):

$$p(z) = p_f \frac{\exp(z/L_i) + a_i [\exp(H/L_i) - 1]}{\exp(H/L_i) + a_i [\exp(H/L_i) - 1]}, \quad (3)$$

где $a_i = L_i/L_e \ll 1$ – малый безразмерный параметр, учитывающий прямые проскоки частиц.

При условии, когда суммарный поток через насос становится равным нулю, достигается максимальная степень сжатия:

$$K_0 = 1 + \frac{\exp(H/L_i) - 1}{1 + a_i [\exp(H/L_i) - 1]}. \quad (4)$$

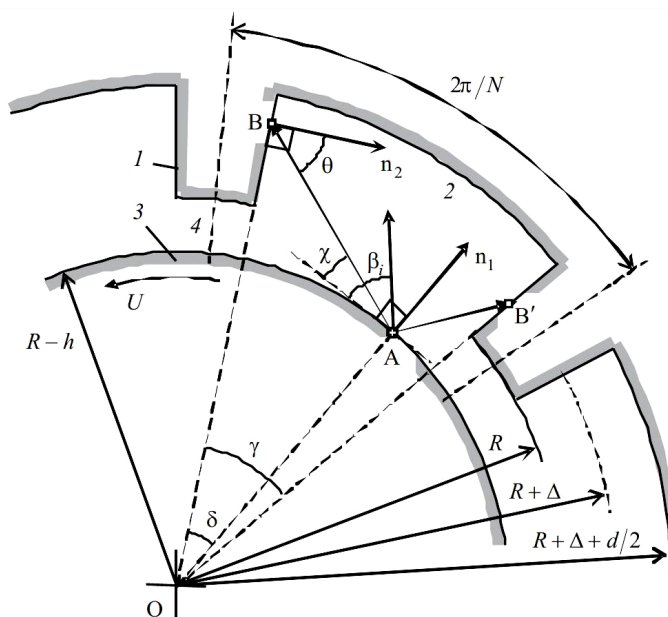


Рис. 1. Поперечное сечение насоса: 1 – ребро, 2 – винтовая канавка, 3 – ротор, 4 – кольцевой зазор

1. Holweck, F., C. R. Hebd. Seances Acad. Sci., Paris, 177, 43 (1923).
2. Valamontes, S.E., Panos, C.N. and Valamontes, E.S., Vacuum, 53, 421 (1999).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИНТОВОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Воробьев А., Токманцев В.И.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: tvi@dpt.ustu.ru

Молекулярные уплотнения газовых центрифуг (ГЦ) [1] представляют собой хорошо известные винтовые насосы [2]. Они обеспечивают вакуумирование пространства между быстро вращающимся ротором и неподвижным корпусом ГЦ, снижая до приемлемой величины потери мощности за счет газодинамического трения. Длинные роторы современных промышленных ГЦ склонны к вибрации, поэтому для безаварийной работы между ротором и статором уплотнения приходится оставлять заметный радиальный зазор. Сочетание молекулярного режима течения и относительно большого зазора между ротором и статором молекулярного уплотнения приводит к заметному проскоку частиц газа из области повышенного давления в область высокого вакуума. В данной работе